第46卷 第7期
2023年7月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 46 No. 7
Jul. 2023

国土空间规划背景下畜牧业生产适宜性评价与分区
——以锡林郭勒盟镶黄旗为例

荣丽华， 李伊彤

（内蒙古工业大学，内蒙古 呼和浩特 010051）

摘 要：针对现有“双评价”方法对牧区县域生产空间落位指导性较差的问题，探索畜牧业生产适宜性评价方法，实现牧区县域生产空间合理划分。以锡林郭勒盟镶黄旗为例，通过计算畜牧业生产概率偏差与畜牧业生产密度，求解研究区畜牧业生产强度，并结合牧区空间管控与地形限制等因素，运用空间自相关分析实现畜牧业生产适宜性分区。结果表明：(1) 镶黄旗畜牧业生产密度远超《锡林郭勒盟草地适宜载畜量核定工作指导意见》中载畜量标准，畜牧业生产概率偏差呈网络化分布趋势，畜牧业生产强度较高区域相对集中。(2) 畜牧业生产限制指数高值区主要分布于浑善达克沙地边缘、中心镇区；畜牧业生产限制指数低值区域主要分布于宝格达音高勒苏木全域、翁贡乌拉苏木南部与巴音塔拉镇的昆都仑嘎查、汗乌拉嘎查等。(3) 畜牧业生产强度与畜牧业生产限制指数 Moran's I 为−0.0944，两者呈空间负相关，聚集效应显著且相似性较差。(4) 镶黄旗畜牧业生产适宜性分区可分为畜牧业发展重点区、禁止畜牧业生产区、畜牧业生产转移区、退牧生态修复区、畜牧业发展高、中、低弹性区。国土空间规划背景下，科学评价牧区县域畜牧业生产适宜性，对于指导牧区“划区轮牧”具有重要现实意义，同时对于探索草原牧区地域性空间规划理论与方法具有一定理论意义。

关 键 词：国土空间规划；“双评价”；畜牧业生产适宜性；牧业旗县；分区优化；锡林郭勒盟镶黄旗

文章编号：1000－6060(2023)07－1166－10(1166～1175)

国土空间规划是对一定时期内特定区域国土空间开发与保护做出总体部署的战略性、系统性、综合性的空间规划[1-2]。资源环境承载力与国土开发适宜性评价（简称“双评价”）作为优化国土空间开发与保护格局的科学基础与约束条件[3]，是国土空间规划体系具有前置性作用的制度设定与技术基础[4]。2020年自然资源部印发了《资源环境承载力和国土开发适宜性评价指南（试行）》，从生态保护重要性、农业生产适宜性、城镇建设适宜性3个维度综合评价地区空间“三生”功能，并直接指导国土空间开发保护格局构建。其中，农业生产适宜性评价是划分区域农业生产空间的重要依据，相关技术方法、理论基础适用于以农业生产为主的区域，对于内蒙古自治区、西藏自治区、青海省等以畜牧业生产为主的区域适用性较差[5]，相关研究也多聚焦于农业地区生产功能空间区划[6-7]，缺乏对畜牧业生产适宜性评价及分区的理论与方法。

传统畜牧业生产活动以“逐水草而牧”的方式进行，牧民从事生产活动的范围随着放牧环境的改变而迁移[8]。新中国成立后，从“草畜双承包”到“双权一制”，从“双增双提”到“围封转移”[9-10]，内蒙古草原牧区经历了从“户有户养”的家庭小规模流动

收稿日期：2022-10-21； **修订日期**：2022-11-27
基金项目：国家自然科学基金项目(51868057)；内蒙古自治区教育科学“十三五”规划课题(NGJGH2020049)资助
作者简介：荣丽华(1972-)，女，博士，教授，主要从事内蒙古草原人居环境、草原聚落生态聚居、城乡规划设计与理论研究. E-mail: ronglihua@imut.edu.cn
通讯作者：李伊彤(1995-)，男，博士研究生，主要从事内蒙古草原地区城市设计理论与方法研究. E-mail: 1208833755@qq.com

式生产向以“牧业合作社”为主相对集中的“定牧”式生产转变[11]，随着畜牧业生产方式的转变，空间利用方式从“区域流动”转变为“划区轮牧”[12]。在国土空间规划背景下，以“双评价”逻辑为基础研判畜牧业生产适宜性分区[13]，指导牧区生产活动在国土空间中精准落位。发生畜牧业生产活动的适宜性主要根据草地植被状况和草场资源获取难易程度来确定[14]，由于各评价单元草场资源以及从事牧业生产活动偏好和便利性不同[15]，致使畜牧业生产活动强度出现空间分异。相关研究更多关注畜牧业生产活动强度与植被群落[16]、土壤成分等要素之间的关系[17-18]，空间化评价畜牧业生产活动强度的研究较少。胡晓阳等[19]以放牧强度为评价对象，通过计算放牧密度、放牧概率，实现放牧强度的空间化表达。但该研究立足于2个假设，即假设1：畜牧业生产活动仅依靠放牧的方式进行，且草地对于放牧活动的利用率为100%；假设2：全域空间均可用作畜牧业生产。该研究虽仅考虑了理想状态下放牧对牧业生产活动的影响，并未考虑草地利用率、空间管控等限制条件，但对于国土空间规划中畜牧业生产适宜性评价方法的构建具有重要价值。

综上，本研究以锡林郭勒盟镶黄旗为例，构建0.5 km×0.5 km网格作为分析统计单元，借鉴放牧强度空间化方法，通过对畜牧业生产密度、畜牧业生产概率偏差的计算确定无限制条件下畜牧业生产强度[19]。对接国土空间规划，将生态保护重要性评价[20]、城镇开发边界[21]等规划及政策因素作为牧业生产限制条件，并通过求解畜牧业生产强度与限制因素Moran's *I*，确定合理的畜牧业适宜性分区，从而科学划分镶黄旗畜牧业生产空间。最终确定牧区县域牧业生产适宜性区划，探索畜牧业生产适宜性评价方法的同时，为完善牧区国土空间规划理论基础与技术方法提供参考。

1　研究区概况

镶黄旗（113°22′~114°45′E，41°56′~42°45′N）位于内蒙古自治区中部、锡林浩特市西南部、北靠苏尼特左、右两旗，东邻正镶白旗，南和西分别与乌兰察布市化德县、商都县接壤（图1）。旗域地势条件呈南高北低，地形以低山丘陵为主，平均海拔为1282.98 m。下辖2个建制镇、2个苏木（镇，乡），共有60个嘎查（村）、6个社区、1个工业园区。旗域总面积为5137.26 km²，其中，可利用草场面积4488.22 km²，约占全旗总面积的87.37%，主要草地类型为荒漠化草原。2020年全旗大畜数量为4.29×10^4头、小畜数量为59.54×10^4头，总计承载牲畜80.97×10^4头（羊单位），牧业生产形式以放牧+定牧的养殖模式。2020年全旗生产总值完成21.3×10^8元，一、二、三产占比分别为20.9%、38.7%、40.4%，其中一产产值均来源于畜牧业，二、三产主要来源于围绕畜牧业生产的奶食品加工、民族工艺品生产、“牧人之家”特色旅游等。镶黄旗拥有丰富的牧草地资源，产业形式以畜牧业及畜牧业附加产业为主，具有典型纯牧业旗县特征。

2　数据与方法

2.1　数据来源与处理

文中涉及2020年社会经济数据、各个嘎查（村）牲畜数量等数据来源于锡林郭勒盟统计局《2020年镶黄旗统计年鉴》（http://tjj.xlgl.gov.cn/ywlm/tjsj/lnsj/qmgk/）；行政区划、牧草地分布、道路、农村居民点、河流等数据来源于同趋势相对分布处理后的镶黄旗第三次土地利用调查；2018年高、中、低覆盖度草原分布数据来源于资源环境科学与数据中心（https://www.resdc.cn/），采用30 m×30 m精度；2018年Landsat-8OL遥感影像数据、数字高程模型（DEM）数据来源于空间地理数据云平台（http://www.gscloud.cn/）；历年气象类数据来源于国家气象科学数据共享服务平台（http://data.cma.cn/），通过克里金插值法得出30 m×30 m空间分布栅格；土壤栅格数据（1:1000000）来源于联合国粮农组织和维也纳国际应用系统研究所构建的世界土壤数据库（HWSD）（http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/）；《镶黄旗国土空间总体规划成果（初步）》、生态保护红线、城镇开发边界、禁牧区范围等数据均来源于镶黄旗国土空间规划编制项目组，均用作限制条件计算，文中不显示具体区划、面积等。研究采用的空间数据均为CGCS2000坐标系，统一为高斯克吕格投影，面积统计口径统一采用椭球面积。水源涵养、防风固沙、水土保持、生物多样性生态服务功能数据均采用净初级生产力（NPP）评估法[20]计算获

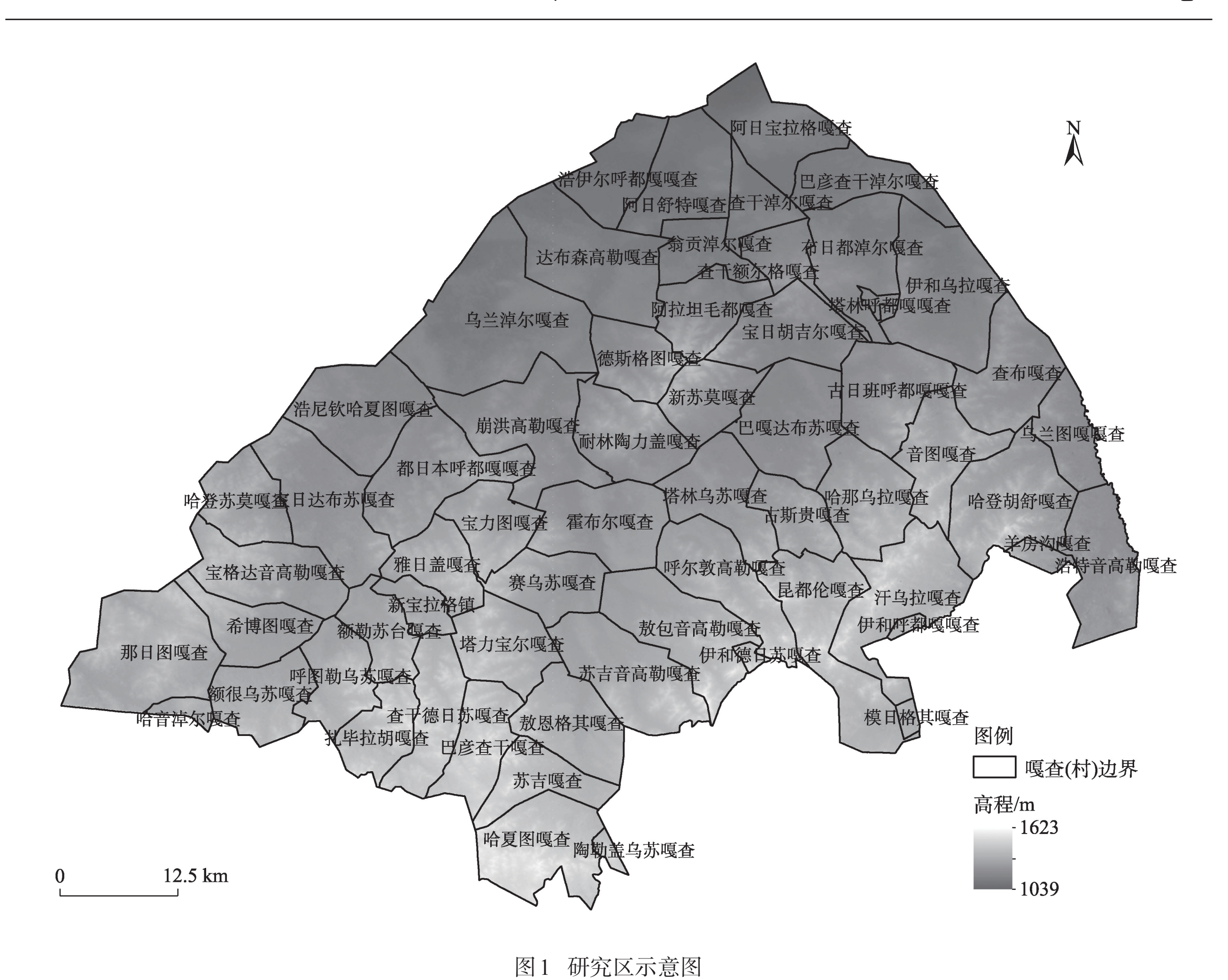


图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

得，具体计算、修正方法见参考文献[20]，并做归一化处理。

2.2 研究方法

2.2.1 畜牧业生产强度计算 畜牧业生产强度是牧业活动对牧区生态、生活的干扰程度[19]，可作为国土空间规划背景下畜牧业生产适宜性评价主要指标。畜牧业生产强度的空间表达，采用畜牧业生产密度与畜牧业生产概率偏差的乘积，测量各网格单元内畜牧业生产强度值高低。畜牧业生产概率是指在各网格单元进行畜牧业生产活动可能性大小。由于不同的牧业生产单元草场资源的优劣、牧业生产条件便利程度、牧民放牧偏好致使发生畜牧业生产活动的可能性大小不同，牲畜会优先采食资源条件好且较易获取的草地植被[14]，牧民会根据放牧的便捷性选择最优的放牧区域及路径。因此，选择草地类型[19]、归一化植被指数(NDVI)[22]12个月均值、NPP 10 a均值[23]、坡向、坡度[23-24]、土地利用类型、距河流水系距离[25]、距居民点距离、距道路距离[26]作为畜牧业生产概率偏差计算因子(表1)，并以0.5 km×0.5 km网格为统计单元，计算网格内各影响因子均值作为概率偏差计算指标。畜牧业生产密度是指各嘎查(村)范围内承载牲畜量与可用作牧业生产面积的比值。通过牧业生产密度与牧业生产概率偏差的求解，进一步计算各网格单元畜牧业生产强度值，计算公式如下：

$$\mathrm{GI}_i = D_i \times B_i = \frac{\sum_{1}^{k}(r_a L_a)}{S \times g} \times \frac{n\sum_{1}^{t} u_{ib}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{b=1}^{t} u_{ib}} \tag{1}$$

式中：GI_i 为第 i 个网格单元内牧业生产强度值；D_i 为第 i 个网格单元所在嘎查(村)牧业生产密度值；B_i 为第 i 个网格单元牧业生产概率偏差；k 为嘎查(村)牲畜种类数；r_a、L_a 分别为 a 种牲畜标准羊单位折算系数、牲畜数量；S 为网格所在嘎查(村)牧草地的面积(hm^2)；g 为草地用作畜牧业生产利用率，根据《锡林郭勒盟草地适宜载畜量核定工作指

表1 畜牧业生产概率影响因素

Tab. 1 Influencing factors of the probability of livestock production

影响维度	影响因素	赋值说明
草场资源	草地类型	将高、中、低覆盖度草原分别赋值9、7、5
	归一化植被指数(NDVI)12个月均值	采用自然间段点法分为5类，由高到低分别赋值9、7、5、3、1
	净初级生产力(NPP)10 a均值/g C·m^{-2}·a^{-1}	采用自然间段点法分为5类，由高到低分别赋值9、7、5、3、1
放牧偏好因子	坡向	将坡向分为平地、东南、南、西南、北、东北、东、西和西北8类，分别标为9、8、7、6、5、4、3、2、1
	坡度/(°)	将坡度分为0°~3°、3°~5°、5°~8°、8°~12°、12°~15°、15°~18°、18°~21°、21°~25°、25°~30°、30°~35°，坡度由小到大依次赋值10~1
	土地利用类型	按照适牧性等级，将对土地利用类型由小到大赋值9~1
便利性因子	距居民点距离/m	以200 m为间隔由小到大依次赋值9~1
	距河流水系距离/m	以300 m为间隔由小到大依次赋值9~1
	距道路距离/m	以100 m为间隔由小到大依次赋值9~1

导意见》取值为0.45；n 为嘎查(村)范围内网格数量；t 为牧业生产概率影响因素数量；u_{ib} 为第i个网格 b 项畜牧业生产概率影响因素值。

2.2.2 畜牧业生产限制指数 畜牧业适宜性分区主要受生态保护重要性、城镇开发边界等规划及政策因素的制约。因此，取生态重要性评价结果、空间规划及相关政策限制要求以及地形因素的并集，计算得出畜牧业生产限制指数。生态重要性评价内容包括水源涵养、水土保持、防风固沙、生物多样性保护[20,27-28]功能，归一化处理后加权叠加[20]，根据自然间断点法划分为5个限制等级。空间规划及相关政策限制要求主要包含城镇开发边界与禁牧区，生态保护红线内尚未出台相关畜牧业管控要求，因此暂不作为牧业生产限制因素。同时考虑地形对牧业生产适宜性的影响，选取坡度因子表征，并根据限制程度分别赋值1~5[19,23]。计算公式如下：

$$R_i = \mathrm{Eco}_i \cup P_i \cup \mathrm{slope}_i \tag{2}$$

$$\mathrm{Eco}_i = 0.30 \times \mathrm{WR}_i + 0.25 \times S_{\mathrm{pro}_i} + 0.25 \times S_{\mathrm{ws}_i} + 0.30 \times S_{\mathrm{bio}_i} \tag{3}$$

$$P_i = r_{\mathrm{UGB}_i} + r_{\mathrm{exclosure}_i} \tag{4}$$

式中：R_i 为第 i 个网格单元牧业生产限制指数；Eco_i 为第 i 个网格单元生态重要性评价值；P_i 为第 i 个网格单元国土空间规划及相关政策要求限制因素；slope_i 为第 i 个网格单元坡度限制等级；WR_i 为第 i 个网格单元水源涵养服务能力指数；S_{pro_i} 为第 i 个网格单元水土保持服务能力指数；S_{ws_i} 为第 i 个网格单元防风固沙服务能力指数；S_{bio_i} 为第 i 个网格单元生物多样性保护服务能力指数；r_{UGB_i} 为第 i 个网格单元是否处于城镇开发边界内，是则取值5，否则取值0；$r_{\mathrm{exclosure}_i}$ 为第 i 个网格单元是否处于禁牧区内，是则取值5，否则取值0。

2.2.3 空间自相关分析 以0.5 km×0.5 km网格为分析单元，通过计算各网格内畜牧业生产强度、畜牧业生产限制指数，识别2项因子空间异同特征，以期指导畜牧业生产适宜性分区。分析采用局部空间自相关分析，探测畜牧业生产强度与畜牧业生产限制因素空间自相关程度，计算公式如下：

$$\text{Moran's } I = \frac{x_y^a - \bar{x}_y}{\sigma_y^2} \times \sum_{j=1}^{n} \omega_{ij} \times \frac{x_z^b - \bar{x}_z}{\sigma_z^2} \tag{5}$$

式中：x_y^a 为网格单元 a 的值 y；x_z^b 为网格单元 b 的值 z；σ_y^2、σ_z^2 分别为 y、z 的方差；ω_{ij} 为空间权重矩阵；$\bar{x}_y$、$\bar{x}_z$ 分别为 y、z 的均值。

3 结果与分析

3.1 畜牧业生产强度空间分布

由于不同种类牲畜草地日采食量不同，依照《天然草地合理载畜量的计算》(NY/T 635-2015)标准将大畜、小畜统一折算为羊单位计算各个嘎查(村)畜牧业生产密度(图2a)。由图2a可知，镶黄旗总体畜牧业生产密度为3.17头·hm^{-2}，远超《锡林郭勒盟草地适宜载畜量核定工作指导意见》中载畜量标准(1.36头·hm^{-2})。新宝拉格镇周边宝格达音高勒苏木下辖嘎查(村)畜牧业生产密度总体较高，翁贡乌拉苏木、巴音塔拉镇下辖嘎查(村)畜牧业生产

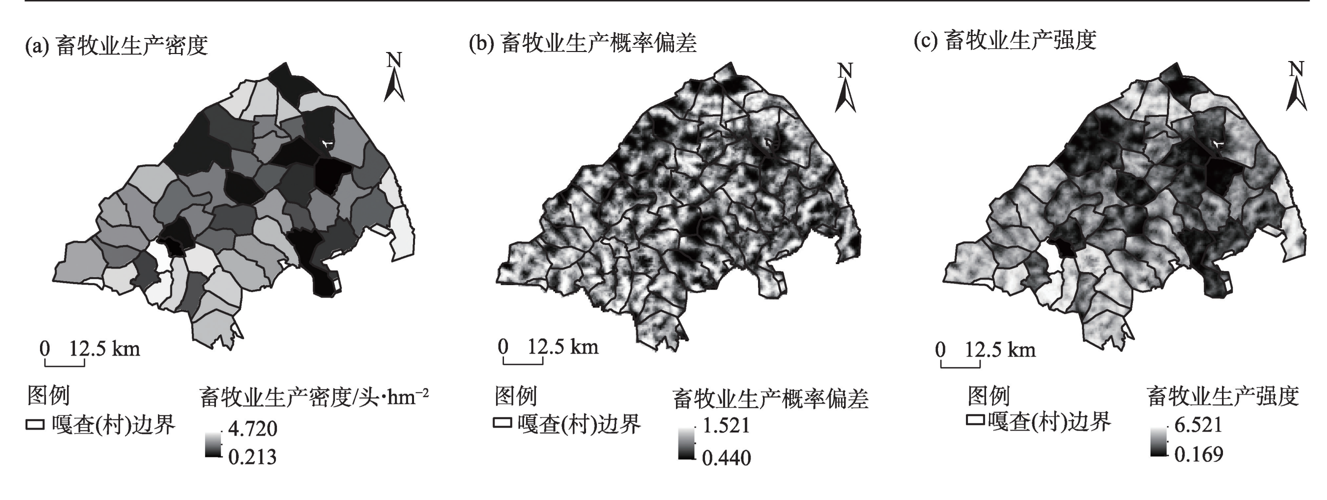


图2 畜牧业生产强度空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of livestock production intensity

密度较低;其中,畜牧业生产密度最高、最低嘎查(村)分别为额勒苏台嘎查、古日班呼都嘎嘎查。

以0.5 km×0.5 km网格为分析单元,对草地类型、NDVI、NPP等9项因子进行统计,并计算各网格单元内畜牧业生产概率偏差值(图2b)。镶黄旗畜牧业生产概率偏差均值为0.892,值域范围为0.440~1.521,牧业生产活动发生概率较高的区域位于宝格达音高勒苏木大部分地区、翁贡乌拉苏木北部及巴音塔拉镇南部,空间分布呈网络化趋势。

以0.5 km×0.5 km网格为计算单元,求解镶黄旗畜牧业生产强度(图2c)。镶黄旗畜牧业值域范围为0.169~6.521,该区域畜牧业生产强度较高区域相对集中,主要分布于宝格达音高勒苏木、翁贡乌拉苏木北部、巴音塔拉镇东部。其中,紧邻中心镇区及区域性交通设施的额勒苏台嘎查、扎布拉胡嘎查的畜牧业生产强度最高,古日班胡都嘎嘎查的畜牧业生产强度最低。

3.2 畜牧业生产限制等级

综合考量国土空间规划中生态重要性、空间管控限制因素以及地形因素对畜牧业生产的限制程度,以0.5 km×0.5 km网格为分析单元,计算各网格内畜牧业生产限制指数。镶黄旗畜牧业生产限制指数区间为0.605~5.010,均值为2.160,并根据自然间断点法将空间分为高、较高、中、较低、低限制区(图3)。高、较高限制区主要分布于旗域北部紧邻浑善达克沙地的浩伊尔胡都嘎、巴彦查干淖尔等嘎查(村)以及中心镇区,约占全域面积的17.5%。低、较低限制区,主要分布于宝格达音高勒苏木全域、

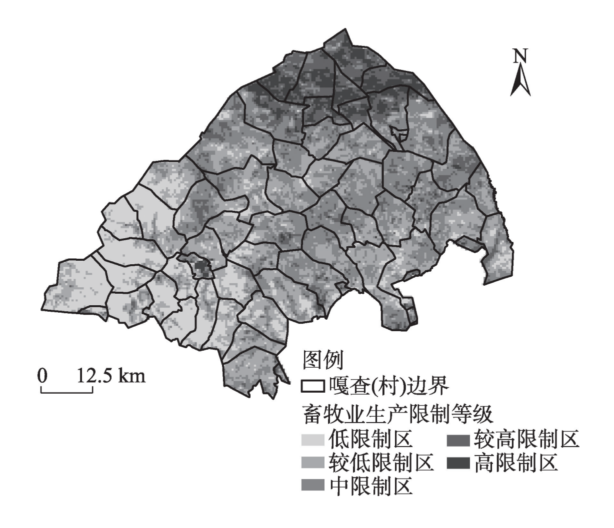


图3 畜牧业生产限制等级分布

Fig. 3 Distribution of livestock production restrictions

翁贡乌拉苏木南部与巴音塔拉镇昆都仑嘎查、汗乌拉嘎查等,约占全域面积的48.3%。中限制区主要分布于巴音塔拉镇北部、翁贡乌拉苏木中部的达布森高勒、阿拉塔毛都等嘎查(村)内,约占全域面积的34.2%。对比镶黄旗生态重要性评价结果、城镇开发边界及锡林郭勒盟"双评价"结果,发现畜牧业生产限制指数高低分布基本吻合国土空间规划内容及上位规划内容,畜牧业生产限制因素主要受到生态环境、城镇建设的影响。

3.3 空间自相关分析及畜牧业适宜性分区

以GeoDa为分析平台建立Rook空间权重矩阵,计算畜牧业生产强度与畜牧业生产限制指数Moran's I与LISA聚集图(图4),并根据空间自相关分析结果,实现畜牧业生产适宜性分区(图5)。畜牧

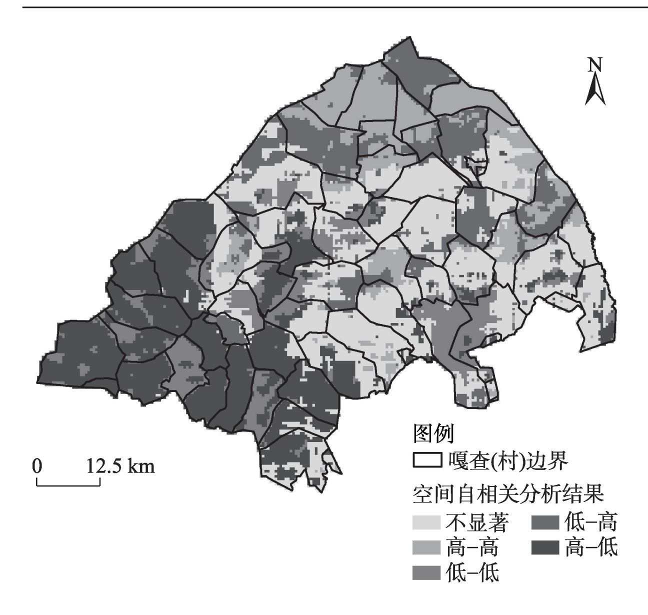


图4　空间自相关分析结果

Fig. 4　Results of spatial autocorrelation analysis

业生产强度与畜牧业生产限制指数 Moran's *I* 为−0.0944，两者呈空间负相关，聚集效应显著且相似性较差。高–低聚集区主要分布于宝格达音高勒苏木全域以及洪崩高勒等嘎查(村)内部，约占全域面积的26.17%，该区域畜牧业生产强度高，畜牧业限制程度较低，可较好支撑畜牧业可持续发展，因此将该区域定义为畜牧业重点发展区，是"增牛减羊"战略实施的重要空间抓手，分区面积为1344.45 km^2。低–高聚集区主要分布于阿日宝拉嘎、达布森高勒等嘎查(村)内，约占全域面积的14.38%，该区域畜牧业生产强度低，畜牧业生产限制程度高，不宜布局畜牧业生产空间，因此将该区域定义为禁止畜牧业生产区，通过禁止畜牧业生产活动，提升地区生态环境质量、保证居民生活品质，分区面积为738.75 km^2。高–高聚集区主要分布于旗域北部，约占全域面积的13.64%，该区域畜牧业生产强度、畜牧业限制指数均高，因此将该区域定义为退牧生态修复区，通过腾退畜牧业生产活动，以满足生态保护、空间管控相关政策的需要，分区面积为700.72 km^2。低–低聚集区主要分布于昆都仑、汗乌拉、胡图勒乌苏等嘎查(村)内，约占全域面积的13.24%，该区域畜牧业生产强度低、畜牧业限制指数低，面积与退牧生产修复区相近，适合用作承载退牧生态修复区所腾退出的牲畜，因此将该区域定义为畜牧业生产转移区，总面积680.19 km^2。不显著集聚区主要分布于宝日胡吉尔、巴嘎达布苏等嘎查(村)内，约占

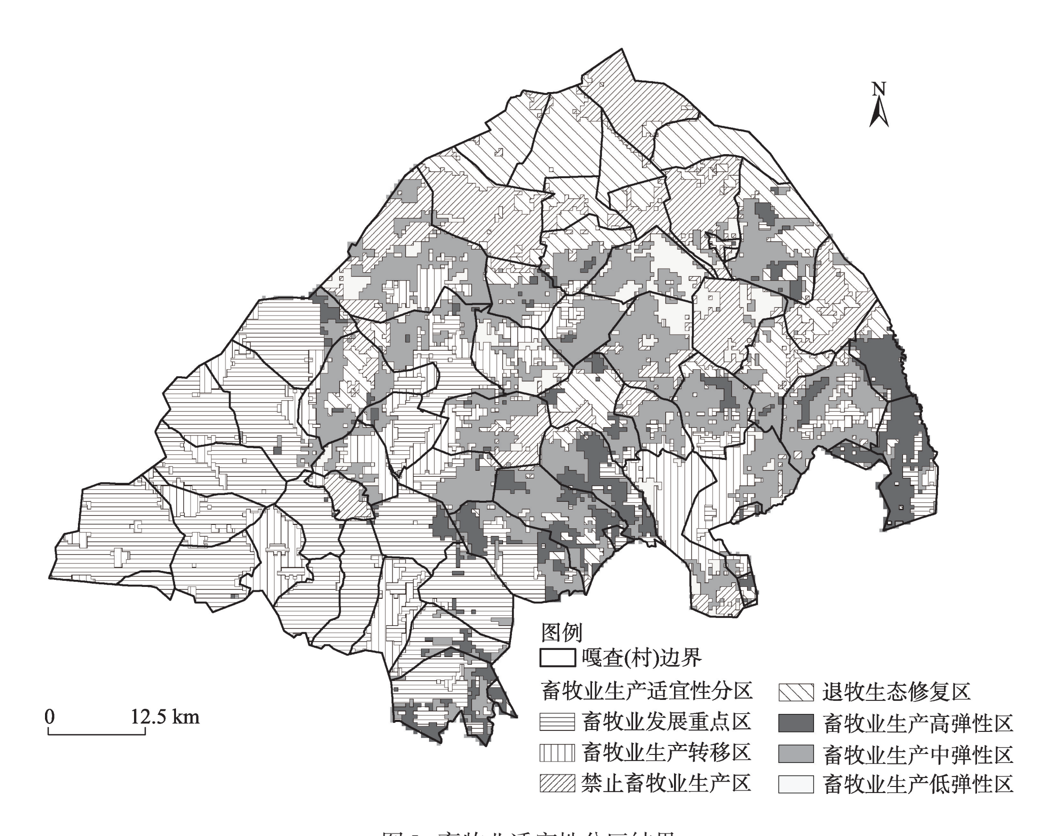


图5　畜牧业适宜性分区结果

Fig. 5　Zoning results of suitability for livestock production

全域面积的32.57%，该区域空间自相关特征不显著，因此根据畜牧业生产强度将该区域进一步划分为畜牧业生产高、中、低弹性区，作为镶黄旗畜牧业发展的弹性空间，用作承载退牧生态修复区腾退出的牲畜，亦可用作未来畜牧业发展的备用空间，并根据弹性高低实现国土空间有序利用，分区面积分别为368.11 km^2、1070.87 km^2、234.25 km^2。

4 讨 论

通过对畜牧业生产强度测算以及相关限制因素分析，初步形成国土空间规划中畜牧业生产适宜性评价及分区方法。国土空间规划背景下，畜牧业生产空间布局受到生态、生活空间的限制，因此综合考量相关限制因素，实现牧业旗县畜牧业适宜性分区。相较于其他畜牧业生产强度研究方法[19]，本研究增加了草地对于畜牧业生产利用率参数以及相关空间管控限制因素，更加符合国土空间规划编制过程中的相关要求。

畜牧业生产适宜性评价及分区的相关研究极少，有学者以锡林郭勒盟镶黄旗为例，依托GIS空间分析、遥感技术计算NPP、NDVI等表征草地质量的指标，通过草场质量好坏表征畜牧业生产适宜程度的高低，并根据自然间断点法实现分区[23]，该研究以植被资源优劣程度表征畜牧业生产适宜性，并未考虑草场资源利用率与国土空间规划限制因素。对比2项研究结论，镶黄旗畜牧业生产适宜性空间分布趋势相近。相较于前述研究，本研究不单从草地资源优劣单维度评价畜牧业生产适宜性，更将放牧偏好、牧业生产便利、相关国土空间规划及政策管控内容等纳入评价模型，更为科学地指导牧区县域生产空间分区。

相较于其他“双评价”研究方法，本研究继承了“双评价”逻辑内涵的同时[3-4]，提出了畜牧业生产适宜性评价及分区方法，对于优化牧区国土空间开发保护格局有一定借鉴价值。研究方法层面有3点不足：(1) 为精细化管理地类图斑提供依据是“双评价”任务之一[1]，本研究采用0.5 km×0.5 km网络作为计算统计单元，虽可在旗域层面实现畜牧业生产功能分区，但精度不足以支撑地类图斑的整合优化；(2) 本研究综合考虑草场质量、放牧偏好、牧业生产便利、空间限制条件，并未考虑政策影响因素对畜牧业生产强度的影响；(3) 由于未收集到季节性牧场分区数据，本研究并未考虑季节性牧场的划分，未来研究可采用不同季节NDVI、NPP数据表征冬季、夏季草地资源变化，以期更好划分冬季、夏季畜牧业生产适宜性分区。

5 结 论

本研究以畜牧业生产强度测算结果为依据，综合相关限制因素对畜牧业生产空间的影响，确定镶黄旗畜牧业生产适宜性分区。通过畜牧业生产强度计算以及相关限制因素分析实现畜牧业适宜性分区，更为精准地指导牧业旗县国土空间规划中生产空间落位。具体结论如下：

(1) 镶黄旗总体畜牧业生产密度为3.17头·hm^{-2}，畜牧业生产密度远超《锡林郭勒盟草地适宜载畜量核定工作指导意见》中载畜量标准(1.36头·hm^{-2})；畜牧业生产概率偏差均值为0.892，空间分布呈网络化趋势；畜牧业生产强度较高区域相对集中。

(2) 畜牧业生产限制指数高值区主要分布于浑善达克沙地边缘、中心镇区；畜牧业生产限制指数低值区域主要分布于宝格达音高勒苏木全域、翁贡乌拉苏木南部与巴音塔拉镇昆都仑嘎查、汗乌拉嘎查等；对比镶黄旗生态重要性评价结果、城镇开发边界及锡林郭勒盟“双评价”结果，畜牧业生产限制指数高低分布基本吻合国土空间规划内容及上位规划内容，畜牧业生产限制因素主要受到生态环境、城镇建设的影响。

(3) 畜牧业生产强度与畜牧业生产限制指数Moran's I为-0.0944，两者呈空间负相关，聚集效应显著且相似性较差；高-高聚集区主要分布于旗域北部，低-低聚集区主要分布于昆都仑、汗乌拉、胡图勒乌苏等嘎查(村)内，低-高聚集区主要分布于阿日宝拉嘎、达布森高勒等嘎查(村)内，高-低聚集区主要分布于宝格达音高勒苏木全域、洪崩高勒等嘎查(村)内部，不显著集聚区主要分布于宝日胡吉尔、巴嘎达布苏等嘎查(村)内。

(4) 镶黄旗畜牧业生产适宜性分区可分为畜牧业发展重点区、禁止畜牧业生产区、畜牧业生产转移区、退牧生态修复区、畜牧业发展高、中、低弹性区。

致 谢：感谢草原人居环境科学与技术创新人才团队对本研究的支持。

参考文献(References)

[1] 曹根榕, 顾朝林, 陈乐琳. 基于"三调"图斑数据的国土空间规划编制方法探索[J]. 经济地理, 2022, 42(2): 1-10. [Cao Genrong, Gu Chaolin, Chen Lelin. Research on the territorial spatial planning method based on the patch data of the third national land census[J]. Economic Geography, 2022, 42(2): 1-10.]

[2] 袁媛, 何冬华. 国土空间规划编制内容的"取"与"舍"——基于国家、部委对市县空间规划编制要求的分析[J]. 规划师, 2019, 35(13): 14-20. [Yuan Yuan, He Donghua. A trade-off analysis on the content of territorial spatial planning: Based on city and county level[J]. Planner, 2019, 35(13): 14-20.]

[3] 郝庆, 邓玲, 封志明. 面向国土空间规划的"双评价": 抗解问题与有限理性[J]. 自然资源学报, 2021, 36(3): 541-551. [Hao Qing, Deng Ling, Feng Zhiming. The "double evaluation" under the context of spatial planning: Wicked problems and restricted rationality[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(3): 541-551.]

[4] 杨帆, 宗立, 沈珏琳, 等. 科学理性与决策机制: "双评价"与国土空间规划的思考[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2311-2324. [Yang Fan, Zong Li, Shen Juelin, et al. Scientific rational orientation and decision-making support orientation: The thinking of "double evaluation" and territorial spatial planning[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(10): 2311-2324.]

[5] 覃荣诺, 谢波, 何建华, 等. 县级国土空间"双评价"的技术难点与优化策略[J]. 规划师, 2021, 37(9): 10-16. [Qin Rongnuo, Xie Bo, He Jianhua, et al. Technical keypoints and improvement strategy of "double evaluations" in county territory spatial planning[J]. Planner, 2021, 37(9): 10-16.]

[6] 栾淑丽, 任红艳, 施润和, 等. 中国油茶种植适宜性评价及产能提升建议[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(10): 39-47. [Luan Shuli, Ren Hongyan, Shi Runhe, et al. Evaluation on the suitability of *Camellia oleifera* planting and suggestions for productivity improvement in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(10): 39-47.]

[7] 徐雯雯, 宁晓刚, 王浩, 等. 基于GIS的城镇、农业、生态空间分区与国土开发风险识别——以陕西省南泥湾景区为例[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(3): 127-132, 139. [Xu Wenwen, Ning Xiaogang, Wang Hao, et al. Research on spatial partition of ecological-urban-agricultural land and risk analysis of land development: A case study of Nanniwan area in Shaanxi Province[J]. Areal Research and Development, 2021, 40(3): 127-132, 139.]

[8] 王伟栋. 游牧到定牧—生态恢复视野下草原聚落重构研究[D]. 天津: 天津大学, 2017. [Wang Weidong. Nomadic settlements to herdsmen settlement: Study on the reconstruction of prairie human settlement environment from the perspective of ecological restoration[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017.]

[9] 赵哲, 陈建成, 白羽萍, 等. 内蒙古地区生态草牧业政策梳理与评估——基于社会网络分析方法[J]. 资源开发与市场, 2019, 35(4): 470-476. [Zhao Zhe, Chen Jiancheng, Bai Yuping, et al. Combing and evaluation of ecological grass husbandry policy in Inner Mongolia based on method of social network analysis[J]. Resource Development & Market, 2019, 35(4): 470-476.]

[10] 赵哲, 陈建成, 王梦, 等. 中国生态草牧业政策梳理及评价[J]. 中国农学通报, 2019, 35(9): 132-137. [Zhao Zhe, Chen Jiancheng, Wang Meng, et al. Ecological grass husbandry in China: Analysis and evaluation of the policies[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(9): 132-137.]

[11] 梁宇舒, 周凌. 从游牧到定居: 内蒙古阿拉善地区乡土住宅的空间形式与社会变迁[J]. 建筑学报, 2020(6): 34-39. [Liang Yushu, Zhou Ling. From nomadicity to sedentariness: Spatial and social changes in vernacular dwellings in Alxa League, Inner Mongolia [J]. Architectural Journal, 2020(6): 34-39.]

[12] 张智起, 姜明栋, 冯天骄. 划区轮牧还是连续放牧?——基于中国北方干旱半干旱草地放牧试验的整合分析[J]. 草业科学, 2020, 37(11): 2366-2373. [Zhang Zhiqi, Jiang Mingdong, Feng Tianjiao. An integrated analysis of rotational grazing and continuous grazing experiments in arid and semi-arid grasslands in northern China[J]. Pratacultural Science, 2020, 37(11): 2366-2373.]

[13] 岳晓鹏, 钱子萱, 丁潇颖. 精明收缩视角下的天津农村空间优化策略[J]. 规划师, 2021, 37(23): 59-66. [Yue Xiaopeng, Qian Zixuan, Ding Xiaoying. Rural space optimization strategy from the perspective of smart shrinkage, Tianjin[J]. Planner, 2021, 37(23): 59-66.]

[14] 万里强, 陈玮玮, 李向林, 等. 放牧强度对山羊采食行为的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 275-282. [Wan Liqiang, Chen Weiwei, Li Xianglin, et al. Effects of grazing intensities on foraging behaviors of goats on a cultivated pasture of southern China[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(4): 275-282.]

[15] 靳茗茗, 徐增让, 成升魁. 藏北高寒草地植被和土壤对不同放牧强度的响应[J]. 生态学报, 2020, 40(23): 8753-8762. [Jin Mingming, Xu Zengrang, Cheng Shengkui. Response of vegetation and soil to different grazing intensities of alpine grassland in northern Tibet[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(23): 8753-8762.]

[16] 王琪, 张峰, 赵萌莉, 等. 放牧强度对短花针茅荒漠草原植物群落组成及种间关系的影响[J]. 生态环境学报, 2021, 30(10): 1961-1967. [Wang Qi, Zhang Feng, Zhao Mengli, et al. Effects of grazing intensity community composition and inter-species relationships of *Stipa breviflora* desert steppe, Inner Mongolia, China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(10): 1961-1967.]

[17] 赵美曼, 董智, 李红丽, 等. 苏尼特右旗荒漠草原不同放牧强度土壤可蚀性K值研究[J].干旱区资源与环境, 2022, 36(1): 135-142. [Zhao Meiman, Dong Zhi, Li Hongli, et al. Study of K values of soil erodibility under different grazing intensities in Sonid Right Banner[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(1): 135-142.]

[18] 高昌宇, 齐志远, 郑慧, 等. 土壤有效养分和微生物特征对短期

不同放牧强度的响应[J]. 草地学报, 2022, 30(7): 1641-1650. [Gao Changyu, Qi Zhiyuan, Zheng Hui, et al. Response of soil available nutrients and microbial characteristics to short-term grazing intensities[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(7): 1641-1650.]

[19] 胡晓阳, 王兆锋, 张镱锂, 等. 青藏高原放牧强度空间化方法与应用[J]. 地理学报, 2022,77(3): 547-558. [Hu Xiaoyang, Wang Zhaofeng, Zhang Yili, et al. Spatialization method of grazing intensity and its application in Tibetan Plateau[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3): 547-558.]

[20] 李伊彤, 荣丽华, 李文龙, 等. 生态重要性视角下东北林区县域生态安全格局研究——以呼伦贝尔市阿荣旗为例[J]. 干旱区地理, 2022, 45(5): 1615-1625. [Li Yitong, Rong Lihua, Li Wenlong, et al. Ecological security pattern at county level in northeast forest area of China from the perspective of ecological importance: A case of Arun Banner in Hulun Buir City[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(5): 1615-1625.]

[21] 王杰云, 罗志军, 俞林中, 等. 基于适宜性评价与Agent-CA模型的城镇开发边界划定——以江西省安义县为例[J]. 地域研究与开发, 2022, 41(5): 70-76. [Wang Jieyun, Luo Zhijun, Yu Linzhong, et al. Delimitation of urban development boundary based on suitability evaluation and Agent-CA model: Taking Anyi County of Jiangxi Province as example[J]. Areal Research and Development, 2022, 41(5): 70-76.]

[22] Zhou X, Yamaguchi Y, Arjasakusuma S. Distinguishing the vegetation dynamics induced by anthropogenic factors using vegetation optical depth and AVHRR NDVI: A cross border study on the Mongolian Plateau[J]. Science of the Total Environment, 2018, 616-617: 730-743.

[23] 李伊彤. 三生协同导向下牧业型草原聚落空间结构绩效评价体系构建研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2020. [Li Yitong. Study on the construction of the performance evaluation system of the pastoral grassland settlement space under the guidance of ecological production and life coordination[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology, 2020.]

[24] 郑伟, 李世雄, 董全民, 等. 放牧方式对环青海湖高寒草原群落特征的影响[J]. 草地学报, 2013, 21(5): 869-874. [Zheng Wei, Li Shixiong, Dong Quanmin, et al. Effects of grazing systems on the community characteristics of alpine steppe in Qinghai Lake region [J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(5): 869-874.]

[25] 丁路明, 龙瑞军, 郭旭生, 等. 放牧生态系统家畜牧食行为研究进展[J]. 家畜生态学报, 2009, 30(5): 4-9. [Ding Luming, Long Ruijun, Guo Xusheng, et al. Advances in studies on livestock grazing behavior in grassland ecosystem[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2009, 30(5): 4-9.]

[26] 刘金鑫, 宫渊波, 左琴, 等. 山地牧道与植被空间异质性研究评述[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 254-261. [Liu Jinxin, Gong Yuanbo, Zuo Qin, et al. A review of mountain grazing-paths and vegetation spatial heterogeneity[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21 (1): 254-261.]

[27] 陈涛, 叶有华, 孙芳芳, 等. 基于SPOT数据的深圳市生态系统服务功能重要性评价[J]. 生态经济, 2018, 34(2): 151-157. [Chen Tao, Ye Youhua, Sun Fangfang, et al. Assessment on the importance of ecosystem service function in Shenzhen City based on SPOT data[J]. Ecological Economy, 2018, 34(2): 151-157.]

[28] 申陆, 田美荣, 高吉喜, 等. 浑善达克沙漠化防治生态功能区防风固沙功能的时空变化及驱动力[J]. 应用生态学报, 2016, 27 (1): 73-82. [Shen Lu, Tian Meirong, Gao Jixi, et al. Spatio-temporal change of sand-fixing function and its driving forces in desertification control ecological function area of Hunshandake, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(1): 73-82.]

Suitability evaluation and zoning of livestock production under the background of national land space planning: A case of Xianghuang Banner of Xilin Gol League

RONG Lihua, LI Yitong

(Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, Inner Mongolia, China)

Abstract: Because the existing “double evaluation” method is ineffective in predicting the production spatial location of pastoral counties, the evaluation method of livestock production suitability was investigated to realize the rational division of production function spatial zoning in pastoral counties. Considering Xianghuang Banner (County), Xilin Gol League (Prefecture), Inner Mongolia, China, as an example, the probability deviation of livestock production and the density of livestock production were calculated to solve the problem of intensity of livestock production in the study area. Spatial autocorrelation analysis was performed to realize the suitability zoning of livestock production by combining the spatial control and terrain restriction of the pastoral area. The results revealed that: (1) The livestock production density in Xianghuang Banner considerably exceeded the livestock carrying standard in the “Guidance on the Approval of Suitable Livestock Carrying Capacity in Xilin Gol League”. The probability deviation of livestock production exhibited a network distribution trend, and areas with high livestock production intensity were concentrated. (2) The areas with high limit index of livestock production were distributed in the edge and central town of Otintag Sandy Land. The areas with low limit index of livestock production were distributed in the area of Bogdayingaole Sumu (Township), the south of Wongula Sumu (Township), Kundulun Gacha (Village) and Hanwula Gacha (Village) of Bayintala town. (3) The livestock production intensity and the livestock production restriction index (Moran’s I) were −0.0944, which revealed a spatial negative correlation, with significant aggregation effect and poor similarity. (4) The suitability zones of animal husbandry production in Xianghuang Banner can be categorized into key areas of animal husbandry development, prohibited areas of animal husbandry production, transfer areas of animal husbandry production, ecological restoration areas of animal husbandry retreat, and areas of high, medium, and low elasticity of animal husbandry development. Under territorial spatial planning, the scientific evaluation of the suitability of livestock production at the county level in pastoral areas is critical for guiding regional “zoning and rotation grazing” and has theoretical significance for exploring regional spatial planning theories and methods in pastoral areas.

Key words: land and space planning; “double evaluation”; suitability of livestock production; livestock production banners; zoning optimization; Xianghuang Banner of Xilin Gol League